

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01333

研究課題名(和文) 延性向上を目指した析出制御メタラジー：コア-シェル構造粒子分散強化鋼の創製と評価

研究課題名(英文) Metallurgy of precipitation aiming at ductility enhancement: Fabrication and characterization of core-shell structured particle dispersion steels

研究代表者

土山 聡宏 (Tsuchiyama, Toshihiro)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：40315106

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,600,000円

研究成果の概要(和文)：加工性に優れた高強度鉄鋼材料の創製を目指した新たな指針として、コア-シェル構造を有する析出粒子を分散させるを組織制御法を提案した。つまり、粒子の中央部に硬質相を配置して強度を担い、周囲の軟質相により破壊を抑制しようとする発想である。実際に3タイプのコア-シェル構造粒子分散強化鋼を作製し、その機械的性質の特徴を評価した。中でも、内部にマルテンサイト、周囲にオーステナイトを配置したMn含有鋼については、優れた強度-延性バランスが得られることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動車の軽量化による燃費低減と、衝突時の安全性を確保するには、使用される鉄鋼材料の高強度化が不可欠となる。しかしながら、高強度化のみでは複雑な形状の部材を作製することはできず、鉄鋼材料には高強度のみならず優れた加工性という相反する特性が付与されなければならない。本研究では、コア-シェル構造粒子という特殊な金属組織を組み込むことでトレード-オフの関係にある両特性を同時に向上させようとする独自の試みを行ったものである。

研究成果の概要(英文)：As a new guideline for the creation of high-strength steel with excellent workability, we proposed a microstructure control method for dispersing precipitated particles having a core-shell structure. In other words, the idea is to arrange a hard phase in the center of the particle to add a high strength and retard a fracture by the surrounding soft phase. Three types of core-shell structured particle dispersion reinforced steels were actually produced and their mechanical properties were evaluated. Among them, it was confirmed that an excellent strength-ductility balance can be obtained for Mn-containing steel in which martensite is arranged inside and austenite is arranged around it.

研究分野：構造材料工学

キーワード：鉄鋼材料 機械的性質 組織制御 析出物 相変態 加工硬化 延性破壊

1. 研究開始当初の背景

金属材料の母相中に硬質な第二相を分散させると、引張変形時に硬質第二相が高い相応力を担うことで加工硬化率が上昇し、一般的には材料の均一伸びや引張強さを増大させることができる。鉄鋼材料においてもその原理を用いた DP (Dual-Phase) 鋼や析出強化鋼などが自動車用高強度鋼板として実用化されている。しかし変形時に硬質第二相が高応力を担うということは、同時に軟質な母相側へひずみ集中が生じることを意味している。その結果、母相/第二相界面近傍でひずみ勾配が極大となり、ポイドや延性亀裂の発生が誘発されることになる。つまり硬質第二相の分散は、均一伸びを改善させるには有効であるが、局部伸びや絞りを逆に低減させ、加工用鋼板のプレス成形に不可欠な曲げ性や穴広げ性などの性能が損なわれることに繋がる。そこで申請者は、プレス成形用高強度鋼板の新しい組織制御法として、母相と硬質第二相との界面に「降伏応力が母相より高く第二相より低い第三相」が中間層として存在する組織(コア-シェル構造)(図1)を作り込む熱処理技術を提案した。このような中間層を配置することにより、界面で生じた応力集中が中間層の塑性変形により緩和され、ポイドや延性亀裂の発生を遅延させることが可能になるという考えである。

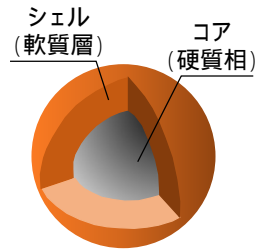


図1 コア-シェル構造粒子の模式図

2. 研究の目的

本研究では以下に示す3つのタイプのモデル合金の創製を目指す。

	(母相)	(中間層:シェル)	(硬質相:コア)
Type I	フェライト	Cu相	炭化物
Type II	フェライト	オーステナイト	炭化物
Type III	フェライト	オーステナイト	マルテンサイト

いずれのタイプの合金においても、中間層が母相より高降伏強度で第二相より低降伏強度の特性を有しており、目的にかなう構成になっている。

本研究では熱処理条件や合金成分を種々変化させることで様々な状態のコア-シェル構造粒子分散合金を作製し、その後引張試験を行うことで、強度-局部伸び・絞りバランスの検討、試験片の横断面観察によるポイドの発生挙動の明確化を行い、コア-シェル構造粒子の有効性を実証する。

また、中性子その場回折法を利用して、コア-シェル構造粒子分散鋼の変形挙動を解析すると共に、結晶塑性FEMを用いてモデリングを行い、理想的なコア-シェル構造の形態や各相の強度比など、組織設計に必要な情報を抽出し、本合金のさらなる発展を目指した組織制御指針を示す。

3. 研究の方法

(1) コア-シェル構造を有する種々の鉄合金創製ならびにその有効性の明確化

以下の手法により3つのタイプのモデル合金の創製を試みる。

Type I: 本タイプのコアシェル構造粒子を形成するには、高温でも溶解度の小さい合金炭化物と比較的溶解度の大きいCuを含む合金となる。例えばFe-V-Cu-C合金やFe-Nb-Cu-C合金がそれに相当する。熱処理としては、図2(a)に示すように、溶体化処理後高温側の炭化物のみが析出する温度で時効処理を行ってフェライト中にVCなどの合金炭化物を分散させ、そののち低温側の炭化物とCuの両方が析出する温度まで徐冷し保持してやればよい。

Type II: 図2(b)に示すように、溶体化-時効処理により、熱的に安定な高合金炭化物を分散させたフェライト鋼またはマルテンサイト鋼について、極短時間の部分オーステナイト化処理を行う。それによって炭化物を起点にオーステナイトが核生成し、前掲図3のようなコア-シェル構造粒子が得られる。

Type III: 本手法は、拡散が遅いオーステナイト安定化元素、すなわちNiまたはMnを添加した低炭素鋼で実施可能である。図2(c)に示すようにオーステナイト化後、Ms点とMf点の間の温度に冷却することで一部マルテンサイトを生成させ、その後 $\alpha + \gamma$ 二相域で焼鈍することで未変

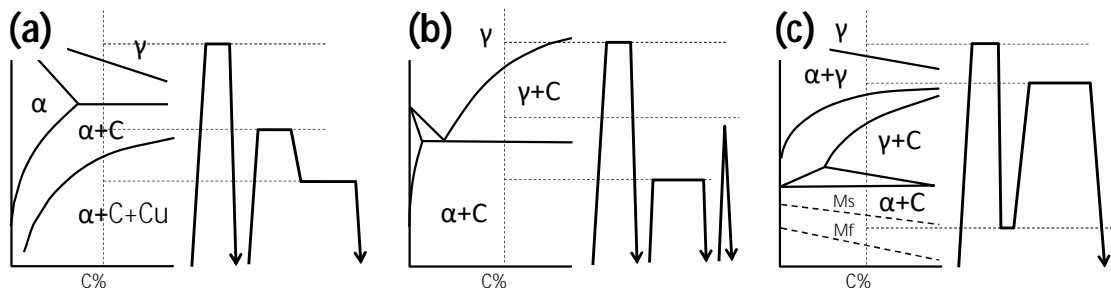


図2 コア-シェル構造粒子を分散させる三種の熱処理 (a) Type I (b) Type II (c) Type III

態  $\gamma$  を成長させる。その際、界面移動が生じた部分のみに Mn や Ni などのオーステナイト安定化元素が濃化する現象を利用したものである。これは著者が過去に TRIP 鋼の研究を行っている際に見出した熱処理法であり、論文としてすでに発表済みである<sup>1)</sup>。この手法を適切な厚みのオーステナイト中間層形成の手法として利用し、コア-シェル構造組織の形成を試みる。合金系は Fe-Ni-C および Fe-Mn-C 系であり、焼入れ時の変態率、二相域焼鈍における温度や時間の影響を明らかにする。

## (2) コア-シェル構造粒子における応力分配・ひずみ分配の定量評価とモデリング

### a. その場中性子回折法

引張試験を行いながら中性子回折を行う「その場中性子回折測定」の手法をコア-シェル構造粒子分散材に適用することで、引張り変形中におけるコア部とシェル部の相応力や塑性変形に関する情報が得られ、本材料の特性発現機構を明らかにすることができると考えられる。実験は、日本原子力研究開発機構（茨城県東海村）の大強度陽子加速器施設（J-PARC）/ 物質・生命科学施設（MLF）にある工学材料回折装置“匠”（BL-19）を使用して行う。

### b. 結晶塑性解析（FEM）

コア-シェル構造粒子の引張り変形挙動について有限要素法を用いた結晶塑性プログラムで解析し、粒子内外のひずみや転位の分布、ならびに材料の加工硬化特性ならびに延性破壊の予測を実施する。

## 4. 研究成果

### (1) 作製されたコア-シェル構造粒子分散鋼の組織と機械的性質

3つの Type のコア-シェル構造粒子分散鋼を、いずれも予定通り作製することに成功した。ただし Type II の鋼については、シェル相の安定度が低く十分な特性が得られないと判断し、Type I と Type III に集中して調査を行った。

#### a. Type I

硬質 VC/軟質 Cu 粒子複合分散鋼（Fe-2Cu-0.9V-0.19C 合金）における析出粒子の分散状態を変化させる手段として、 $\gamma$ +VC 二相域で保持後の冷却過程における冷却速度を3種類に変化させた。得られた試料の TEM 組織を図 3<sup>2)</sup>に示す。まず空冷材（A.C.）では、この観察倍率では VC 粒子と Cu 粒子を識別することが困難であるほど両者が微細に分散している。とくに Cu 粒子は数 nm のサイズで分散しており、一部の Cu は依然として固溶状態であることが確認された。また、Cu と VC は独立に分散している傾向にあり、コア-シェル構造は得られていない。それに対して炉冷材（F.C.）および徐冷材（S.C.）では、粒状の析出物と一方向に伸長した棒状の析出物が共存している。とくに棒状の析出物に着目すると、常に粒状の析出物と接触していることから、先に存在していた粒状析出物を核として棒状に成長したように思われる。つまりこの材料は、第三相の形態に特徴はあるが、コアである VC 炭化物を核として Cu が不均質核生成した複合分散鋼である。ただし、やはり完全なコア-シェル構造とは言えない。

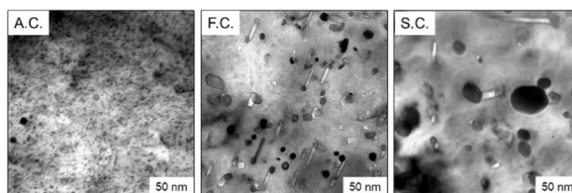


図 3 冷却速度によって析出物の形態を変化させた Fe-2Cu-0.9V-0.19C 合金の TEM 組織<sup>2)</sup>

冷却速度を3種類に変化させたこれらの試料の応力-ひずみ曲線を図 4<sup>2)</sup>に示す。明らかに空冷材の強度が突出しており、強度を引き出すには均質核生成させることが有効であることがわかる。一方、炉冷材と徐冷材は優れた延性・絞りを示している。強度が低いため本図からのみで本材料の優位性を評価できないが、単一の第二相分散鋼と比べると、複合分散鋼は強度と延性・絞りのバランスに優れた傾向にある。軟質粒子による「延性を損なうことなく強度を高める性質」が有効に作用していると考えられる。

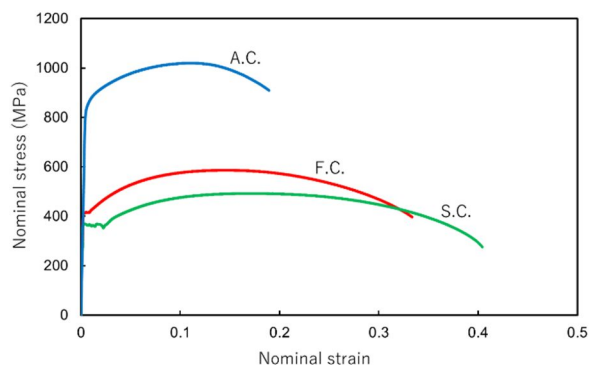


図 4 異なる冷却速度によって組織制御された Fe-2Cu-0.9V-0.19C 合金の応力-ひずみ曲線<sup>2)</sup>

#### b. Type III

Fe-5Mn-1.2Si-0.1C 合金で得られたコア-シェル構造の TEM 組織（明視野像および暗視野像）および対応する回折パターンを図 5<sup>3)</sup>に示す。伸張した組織ではあるが、厚さ 100~300 nm 程度の硬質マルテンサイトを残留オーステナイトが取り囲んだ構造を有していることが確認できる。TEM-EDS 分析を行った結果、シェル部のオーステナイト中には約 10%まで Mn が濃化していることが確認された。図 3 の結果は、Ms と Mf 間の焼入れ中断温度を 461 K に設定した場合であるが、この焼入れ中断温度を変化させることによって、コア部のマルテンサイトとシェル部のオーステナイトの割合を制御できることも判明した。図 6<sup>3)</sup>は、焼入れ中断温度を 461, 518, 546 K



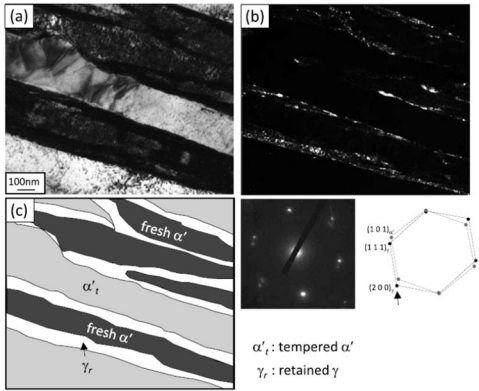


図 5 Fe-5Mn-1.2Si-0.1C 合金で得られたコア-シェル構造粒子の TEM 像<sup>3)</sup>

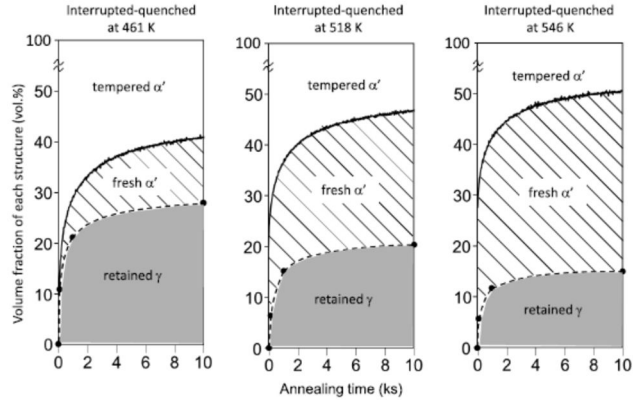


図 6 異なる焼入れ中断温度によって得られた試料における相比と二相域焼鈍時間の関係<sup>3)</sup>

と変化させた試料における両相の体積率を二相域焼鈍処理時間で整理した結果を示す。焼入れ中断温度が高いほどマルテンサイトの比率が大きくなることわかる。図 7<sup>3)</sup>はこれら 3 鋼種ならびにコア-シェル構造粒子を含まない通常の焼入れ-焼戻し材の引張特性を併せて示している。コア-シェル構造粒子を含む材料は高い加工硬化率を有していることわかる。強度が高い分、伸びは低下しているが、局部伸びや絞りについてはほとんど低下していないことが確認され、コア-シェル構造粒子で期待される延性破壊の抑制が達成されていることが示唆された。

## (2) その場中性子回折による応力分配・ひずみ分配の解析と結晶塑性 FEM モデリング

上記 Type III の合金について、引張試験に伴う中性子回折その場測定を行った結果を図 8 に示す。上記図 7 からわかるように、負荷応力が 500MPa を越えると降伏し、顕著な加工硬化が生じるが、111 $\gamma$ 、220 $\gamma$ 、311 $\gamma$  の格子ひずみが増加を示していない。これはシェル部のオーステナイトが塑性変形、または加工誘起マルテンサイト変態を生じて応力緩和に寄与していることを示している。

図 7<sup>4)</sup>は、コア-シェル構造粒子分散鋼の変形挙動における結晶塑性解析を行った結果の一例として、コアに直径が 31.5 nm の VC (体積率 53%) を、シェルに外径 39 nm の Cu (体積率 47%) を配置した解析モデル (Type I) に対して、公称ひずみ 5% を付与したときの相当塑性ひずみ分布を示している。(a) はシェルなし、(b)(c)(d) はそれぞれ CRSS を種々変化させたコア-シェル構造粒子の変形挙動を示している。Cu シェルが塑性変形しやすいほど (右の結果ほど) 母相の塑性ひずみ分布の不均一性が緩和されている。塑性ひずみの局所的な集中は原子空孔濃度の上昇とポイド発生の起点となる。つまり、塑性ひずみの集中を抑制するコア-シェル構造粒子は、硬質な VC 粒子界面を起点としたナノポイドの発生を抑制し、理論的にも延性の改善に寄与する役割を果たすと考えられる。

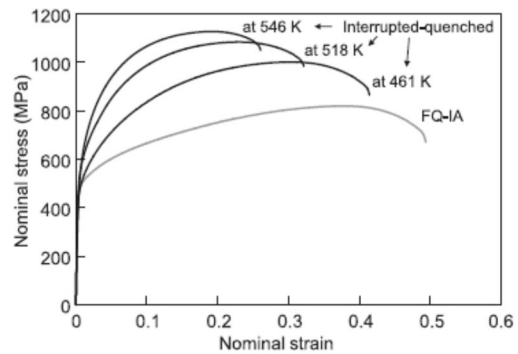


図 7 異なる焼入れ中断温度によって得られた試料において得られた応力-ひずみ曲線<sup>3)</sup>

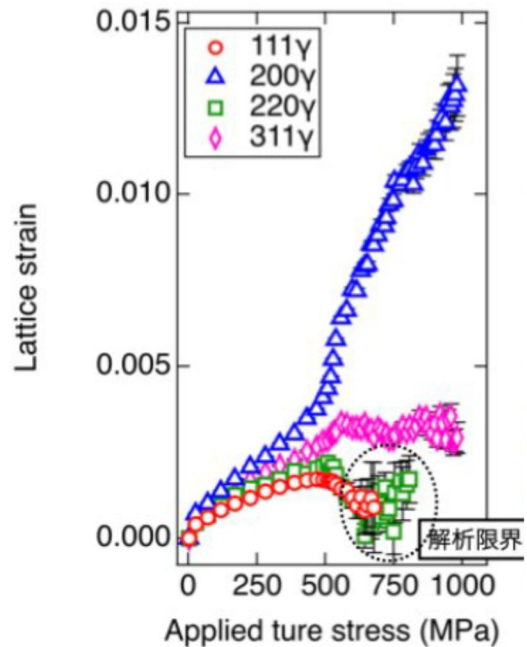


図 8 コア-シェル構造粒子分散鋼 (Fe-5Mn-1.2Si-0.1C 合金) の引張変形に伴うオーステナイトシェルの格子ひずみの変化

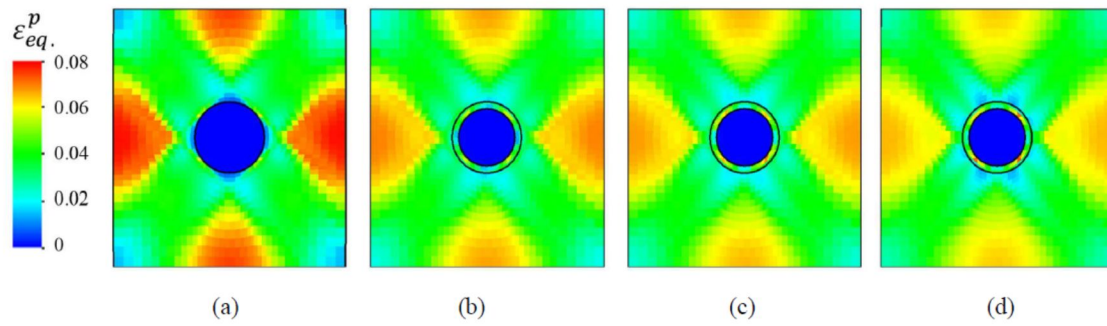


図7 公称ひずみ 0.05 で引張変形した VC コア-Cu シェル粒子周りの相当塑性ひずみ分布<sup>4)</sup>

< 引用文献 >

- 1) T. Tsuchiyama, T. Inoue, J. Tobata, D. Akama, S. Takaki: Scripta Mater., 122 (2016), 36.
- 2) 土山聡宏: CAMP-ISIJ, 35 (2021), 投稿中
- 3) T. Tsuchiyama, T. Sakamoto, S. Tanaka, T. Masumura: ISIJ Int., 60 (2020), 2954.
- 4) 奥山彫夢, 大橋鉄也: CAMP-ISIJ, 33 (2020), 449.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ohashi Tetsuya	4. 巻 98
2. 論文標題 Generation and accumulation of atomic vacancies due to dislocation movement and pair annihilation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Philosophical Magazine	6. 最初と最後の頁 2275-2295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14786435.2018.1478142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 奥山彫夢, 田中将己, 大橋鉄也, 森川龍哉	4. 巻 105
2. 論文標題 第二相粒子が不均一に分散する合金の力学負荷応答に関するモデリングと結晶塑性解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 163-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-098	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 安田洋平, 下川智嗣, 大橋鉄也, 新山友暁	4. 巻 105
2. 論文標題 フェライト / セメントイト積層体の延性に関する結晶塑性解析: 界面の転位吸収能力の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 146-154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-082	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 土山聡宏, 古賀茉冬, 下地いずみ, 平林秀, 増村拓朗	4. 巻 105
2. 論文標題 硬質VC粒子および軟質Cu粒子を分散させたフェライト鋼における局部変形能と延性破壊挙動の相違	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 182-189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y.Oba, S.Morooka, K.Ohishi, J.Suzuki, S.Takata, N.Sato, R.Inoue, T.Tsuchiyama, E.P.Gilbert	4. 巻 50
2. 論文標題 Energy-resolved small-angle neutron scattering from steel	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J.Appl. Cryst.	6. 最初と最後の頁 334-339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600576717000279	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y.Oba, S.Morooka, K.Ohishi, J.Suzuki, T.Tsuchiyama, E.P.Gilbert	4. 巻 1
2. 論文標題 Characterization of microstructure using Bragg edge and energy-resolved small-angle neutron scattering	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 proc. of ISSS 2017	6. 最初と最後の頁 151-154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥山彫夢, 大橋鉄也, 田中將己	4. 巻 104
2. 論文標題 粒子分散強化型合金の微視組織に生ずる2次すべりと巨視的加工硬化特性に関するモデリングと結晶塑性解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 166-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2017-067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Ohashi, Y. Okuyama	4. 巻 99
2. 論文標題 Density evolution of atomic vacancies in copper single crystals during initial stage of fatigue deformation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Philosophical Magazine	6. 最初と最後の頁 3032-3058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14786435.2019.1659517	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Tsuchiyama, T. Sakamoto, S. Tanaka, T. Masumura	4. 巻 60
2. 論文標題 Control of Core-shell Type Second Phase Formed via Interrupted Quenching and Intercritical Annealing in a Medium Manganese Steel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 2954-2962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-164	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Okuyama, M. Tanaka, T. Ohashi, T. Morikawa	4. 巻 60
2. 論文標題 Modelling and Crystal Plasticity Analysis for the Mechanical Response of Alloys with Non-uniformly Distributed Secondary Particles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 1819-1828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-754	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Toshihiro Tsuchiyama, Shohei Tanaka, Takuro Masumura, Setsuo Takaki
2. 発表標題 Microstructure control by interrupted quenching and intercritical annealing in a medium manganese steel
3. 学会等名 高Mn鋼国際会議 "HMnS 2019" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊南佳祐、増村拓朗、土山聡宏、北原周、難波茂信
2. 発表標題 炭素鋼マルテンサイトの鋼のラインプロファイル解析による転位密度測定
3. 学会等名 日本熱処理技術協会第86回春季講演大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 水口豪也, 土山聡宏, 増村拓朗, 村山光弘
2. 発表標題 硬質粒子と軟質粒子を複分散させたフェライト鋼の粒子の分散状態に及ぼす冷却速度の影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土山聡宏
2. 発表標題 薄鋼板の更なる高強度化を目指した組織制御技術
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中祥平, 増村拓朗, 土山聡宏
2. 発表標題 部分焼入-二相域焼鈍処理した中Mn複合組織鋼の機械的性質
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中祥平 坂本孝之 土山聡宏 高木節雄
2. 発表標題 Microstructure control of medium Mn multi-phase steel by interrupted quenching and intercritical annealing
3. 学会等名 平成30年度合同学術講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水口豪也 増村拓朗 土山聡宏 高木節雄
2. 発表標題 硬質粒子と軟質粒子の複合析出鋼における機械的性質
3. 学会等名 平成30年度合同学術講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀茉冬 増村拓朗 土山聡宏 高木節雄
2. 発表標題 ナノスケールDICによる粒子分散鋼の不均一変形挙動の評価
3. 学会等名 平成30年度合同学術講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀茉冬 増村拓朗 土山聡宏 高木節雄
2. 発表標題 デジタル画像相関法による粒子分散鋼の不均一変形挙動の評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中祥平 坂本孝之 土山聡宏 高木節雄
2. 発表標題 部分焼入-二相域焼鈍による中Mn鋼の高強度化
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshihiro Tsuchiyama, Takayuki Sakamoto, Takuro Masumura, Setsuo Takaki
2. 発表標題 Mechanical property of a core-shell structured medium manganese steel fabricated by interrupted quenching and intercritical annealing
3. 学会等名 THERMEC'2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shohei Tanaka, Takayuki Sakamoto, Toshihiro Tsuchiyama, Setsuo Takaki
2. 発表標題 Effect of annealing time on mechanical property of Medium-Mn steel treated with interrupted-quenched and intercritical annealing
3. 学会等名 ICAS2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shohei Tanaka, Takayuki Sakamoto, Toshihiro Tsuchiyama, Setsuo Takaki
2. 発表標題 Mechanical property of Medium-Mn steel treated with interrupted quenching and intercritical annealing for short time
3. 学会等名 CAMS2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大橋鉄也
2. 発表標題 塑性すべりに伴う原子空孔密度発展の結晶塑性解析
3. 学会等名 鉄鋼協会 2018年度「水素脆化の基本要因と実用課題」フォーラム第1回会合
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuya Ohashi
2. 発表標題 Dislocation density-based crystal plasticity analysis for the evolution of atomic vacancies during plastic slip deformation
3. 学会等名 The 9th international conference on Multiscale Materials Modeling (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂本孝之 土山聡宏 高木節雄
2. 発表標題 中Mn鋼の部分焼入-二相域焼鈍における熱処理条件の検討
3. 学会等名 第84回熱処理技術協会秋季講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y.Oba, S.Morooka, K.Ohishi, J.Suzuki, T.Tsuchiyama, E.P.Gilbert
2. 発表標題 Characterization of microstructure using Bragg edge and energy-resolved small-angle neutron scattering
3. 学会等名 International Symposium on Steel Science (ISSS 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥山彫夢, 大橋鉄也, 田中將己, 森川龍哉
2. 発表標題 軟質な第二相粒子が分散する合金の転位蓄積と加工硬化の結晶塑性解析
3. 学会等名 平成29年度日本鉄鋼協会九州支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥山彫夢, 大橋鉄也, 田中将己
2. 発表標題 分散強化合金中の硬質粒子近傍に生ずる変形と巨視的な力学特性の結晶塑性解析
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2017材料力学カンファレンス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥山彫夢, 田中将己, 大橋鉄也
2. 発表標題 分散強化合金中の2次すべり系の活動と巨視的な力学特性の結晶塑性解析
3. 学会等名 日本機械学会九州支部第71期講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Tetsuya Ohashi	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer Nature Singapore Pte Ltd.	5. 総ページ数 26
3. 書名 Dislocation Density-Based Modeling of Crystal Plasticity Finite Element Analysis, in Handbook of Mechanics of Materials	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	諸岡 聡  (Satoshi Morooka)  (10534422)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究 部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター・研究副主 幹  (82110)	



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	大橋 鉄也  (Tetsuya Ohashi)  (80312445)	北見工業大学・工学部・特任教授     (10106)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関